

浅谈旋挖嵌岩桩桩身及桩底缺陷处理

张跃进

武汉地质勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年2月2日; 录用日期: 2022年2月23日; 发布日期: 2022年3月2日

摘要

旋挖桩嵌岩施工中护壁不稳定, 工序控制不严格, 桩基浇灌砼后桩身存在砼离析或桩底存在较厚的沉渣, 极大影响了桩基承载力, 造成桩基质量不满足设计要求, 本文辅以实例介绍桩基桩身及桩底检测存在缺陷, 加以特殊工艺处理补救后, 最终桩承载力及桩身质量达到了设计要求, 消除了隐患。

关键词

沉渣, 切割洗孔, 压浆, 桩身抽芯, 静载复验

Discussion on Treatment of Defects in Pile Body and Bottom of Rock-Socketed Pile by Rotary Excavation

Yuejin Zhang

Wuhan Geological Survey Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Feb. 2nd, 2022; accepted: Feb. 23rd, 2022; published: Mar. 2nd, 2022

Abstract

In the construction of rock-socketed Rotary excavation pile, the wall protection is unstable; the working procedure is not strictly controlled; the concrete segregation exists in the pile body after pouring concrete into the pile foundation or the thick sediment exists in the pile bottom, which greatly affects the bearing capacity of the pile foundation and causes the quality of the pile foundation not to meet the design requirements; this paper introduces the defects of pile body and pile bottom detection with examples. After special treatment, the ultimate bearing capacity and quality of pile body meet the design requirements and eliminate hidden troubles.

Keywords

Sediment, Cutting Hole, Grouting, Pile Core Pulling, Static Load Reinspection

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着城市建筑的不断发展,城市拓展在建设过程中基础施工会遇到各类复杂地层,施工中因各类因素的影响,造成桩底沉渣或多或少超出规范要求,最终静载抽样检测不合格,桩基质量不满足设计及规范要求;滞碍后续工程续建,对开发商带来极大损失。对今后业主居住也留下了极大的隐患,给社会带来不稳定。为规避这些危害发生,在基础施工期间必须认真分析地层情况,合理选择施工工艺,同时要有补救措施,以确保桩基础满足规范要求。

2. 工程概况

某拟建工程位于长江边缘,由两栋 33 层建筑及附属商业建筑、地下室组成,基础类型为钻孔灌注桩,工程桩采用钻孔灌注桩,桩径 $\phi 1100$ mm、 $\phi 900$ mm、 $\phi 600$ mm 三种,桩身混凝土强度等级均为 C35,1 号楼为 $\phi 900$ mm 桩共计有 248 根桩,2 号楼为 $\phi 1100$ mm 桩共计有 226 根桩,其中 2 号楼开工日期为 2012 年 8 月 9 号,完工时间 2012 年 10 月 29 日。勘察报告中地层揭露情况为:场地地层构造较简单,场区主要土层为典型的冲、洪积地层。据其成因、物质组成、物理力学性质及工程特性不同,自上而下可划分为 4 个岩土层:第 1 层杂填土(Qml);第 2 层粉质粘土(Q3al);第 3 层粉土(Q3al);第 4 层卵石(Q3pl+al);第 5 层粉质粘土(Q4al);第 6 层粉砂岩(K1w1)。

3. 桩基完工检测情况

在基坑土方开挖后对 1、2 号楼随机选取了 5 根桩做静载检验,结果 150 号桩承载力不能满足设计要求,经最初 10%抽芯 23 根桩大部分桩桩底存在缺陷,后经设计院加抽的 23 根桩中还有 7 根桩桩底存在离析或沉渣,最终 2 号楼 100%进行抽芯检测,检测结果为有 79 根桩桩底离析或沉渣超过了规范要求。

桩号	桩长	离析厚度(cm)	沉渣厚度(cm)	区段描述
63	12.79	170	6	0.2-1.9离析 12.79-12.85沉渣
67	13.4	0	4	13.40-13.44
69	13.8	200	5	0.0-2.0离析 13.8-13.85沉渣
70	13.8	10	0	13.70-13.80
71	13.3	10	0	13.20-13.30
72	13.39	19	0	13.20-13.39
75	14.45	35	0	14.1-14.45
76	13.5	15	0	13.35-13.5
80	13	0	5	13-13.05
81	12.95	0	5	12.95-13.0
82	13.7	20	0	13.7-13.7
84	14.5	30	0	14.2-14.5
178	13.56	20	0	13.36-13.56
179	14	0	17	14-14.17
180	13.9	0	10	13.9-14.0
181	12.3	20	0	12.1-12.3
182	12.1	21	0	11.89-12.1

桩号	最大试验荷载		极限承载力	
	kN	沉降(mm)	kN	沉降(mm)
64	11000	14.08	11000	14.08
435	11000	19.26	11000	19.26
361	9400	21.46	9400	21.46
150	5875	>52.37	4700	15.30
113	9400	29.62	9400	29.62
255	9400	27.81	9400	27.81
208	9400	32.11	9400	32.11

4. 出现桩底及桩身缺陷的原因分析

根据本施工场地的地质条件及施工中遇到的实际情况,质量缺陷问题的发生是由各种原因造成,其中最主要为:场区地质条件复杂,施工未采用优质泥浆,清孔及清孔后等待时间过长,造成泥浆中悬浮的渣粒沉淀;孔壁卵石在下笼时碰掉到孔底;初灌冲击力不够或混凝土初始方量不足导致孔底留有沉渣或灌注前导管离孔底过高,造成局部砼与泥浆混合,产生离析等;主要现象为桩底砼离析、蜂窝和少量存在夹泥,从而影响桩的承载力。

5. 桩底及桩身砼缺陷处理

针对该项目钻孔灌注桩桩底出现离析或少量沉渣的问题,经分析并结合以往成熟处理的案例拟定采用高压旋喷结合高压桩端封闭注浆措施来处理。对这些存在桩底离析严重和夹泥或沉渣超过规范的桩采取用高压旋喷置换法进行处理,对桩端轻微缺陷的桩进行封闭压浆加强处理等措施,以提高桩端砼的完整性及其强度,从而达到设计要求。

5.1. 高喷法处理各项参数及要求

- 1) 高压水切割压力 25~30 MPa; 注浆浆液水灰比 0.6~0.65, 42.5R 普硅水泥, 掺入 0.3% 的三乙醇胺早强剂;
- 2) 高压喷浆压力 25~30 MPa, 高压压浆压力 3~5 MPa; 旋转速度 20~30 r/min, 提升速度 7 cm/min;
- 3) 注浆体强度: 不小于 M35; 清孔与喷浆在缺陷段重复次数不少于 3 次, 依据桩底缺陷大小来调整。

5.2. 高喷法处理施工工艺

根据现场检测资料及钻芯资料,对桩底砼蜂窝离析夹泥及沉渣的桩,处理采用 25~30 MPa 的高压清水切割、二次成桩旋喷新工艺进行施工。

5.2.1. 施工设备

该工程施工设备选用 MGJ-30 型钻机,同时完成清孔和高压喷浆两个系统工作,结合天津聚能高压泵进行施工,主要设备的组成如下:

设备名称	动力	功能	数量
MGJ-30 型钻机	11 KW	造孔、成桩与清孔	1
GPBW-90 高压泵	90 KW	送高压水、高压浆	1
JJS-2B 搅拌机	2.2 KW	制备水泥浆	1
BW150 注浆泵	7.5 KW	注浆	1
浆液桶		储浆液	1
清水箱		储水	1

5.2.2. 施工工艺[1]

对于孔底沉渣或离析缺陷区域在 5~10 cm 的桩采取先进行孔底来回高压水切割洗孔,再对缺陷段进行高压喷浆处理,孔底喷浆次数不少于 2 次,最后对上部空孔进行回填注浆(如图 1 中的第 1~2 步)。对于孔底沉渣或离析超过 10 cm 的桩在桩端进行高压洗孔、高压旋喷注浆完毕后,将预埋并变径后的钢管接头与高压注浆管接头连接牢靠,用 3~5 MPa 的压力进行二次压入水泥浆并持续 10 min (如图 1 的第 1~3 步),达到渗透注浆的效果。

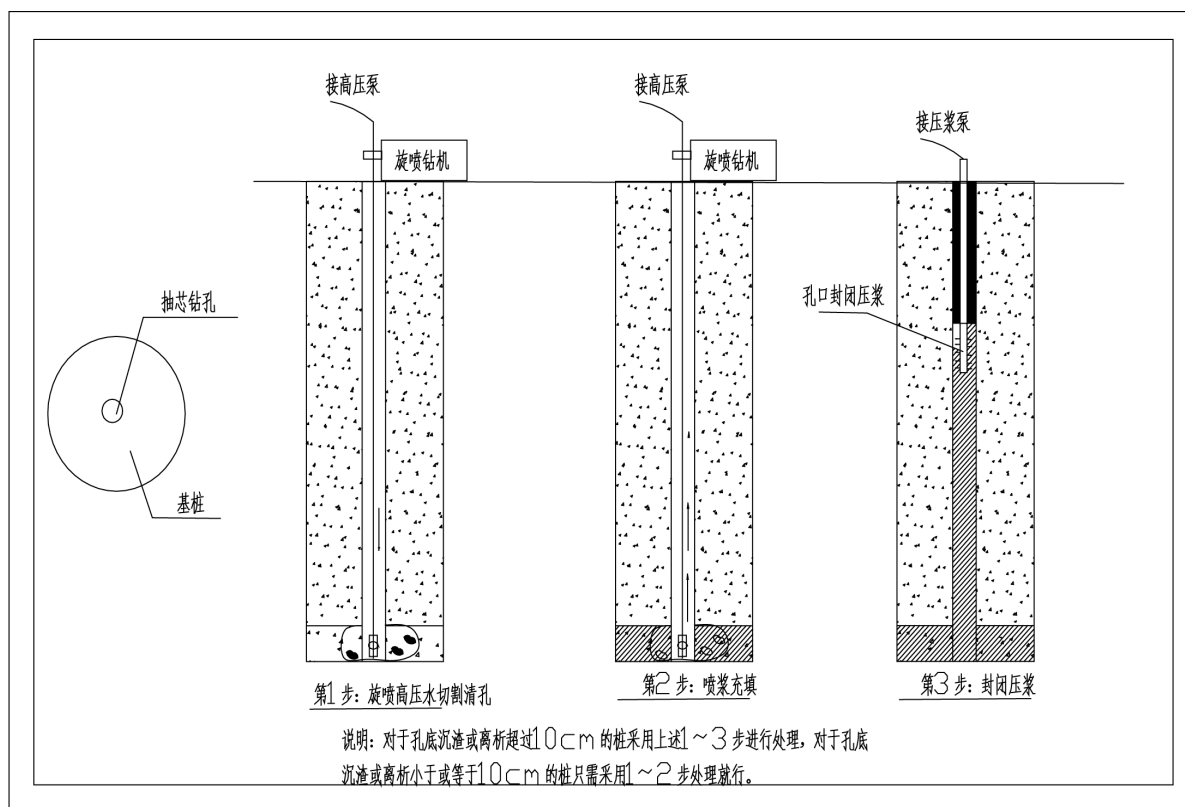


Figure 1. Schematic diagram of high pressure jet treatment
图 1. 高喷法处理示意图

1) 高喷工艺流程

高压旋喷注浆的整个施工工艺流程为: 孔位确定 → 钻机成孔 → 预埋压浆管 → 喷射切割冲洗 → 水泥浆制备 → 高压喷浆作业 → 高压压浆 → 拔管 → 移机至下一孔位。

2) 施工工艺

① 孔位确定: 利用基桩截面上抽芯的钻孔, 确保旋喷有效半径到达基桩边缘, 离析严重的(缺陷区域超过 0.2 m)在离抽芯孔 0.3 m 左右再增设一钻孔;

② 钻机成孔: 钻孔开孔前使钻头对准孔位中心, 调整钻机水平及调校钻杆垂直, 务必使钻孔垂直度不大于 1% (砼离析段少于 20 cm 的利用桩截面上已有的抽芯孔, 该项工作不做, 大于 20 cm 离析的在桩截面上再增补 1~2 个钻孔);

③ 预埋压浆管[2] (只针对沉渣或离析超过 10 cm 的桩才预埋): 钻孔通道形成后, 采用 $\phi 76$ 钢管, 长 90 cm, 孔内 60 cm, 高出孔口 30 cm, 防止高压水切割冲洗后的泥砂返回孔内, 钢管预埋采用水泥砂浆或水泥净浆均可, 高出孔口一端加工变径接头以便与高压注浆管相连;

④ 高压旋喷与注浆工艺[3]: 高压清水切割冲洗与成桩工艺分开进行, 使用高压清水由上而下, 即钻机立好后喷嘴即喷出压力为 25~30 MPa 的高压清水, 用高压清水冲切拟处理部位, 旋转钻杆, 并按每分钟 20 cm 的速度往下钻进, 使喷射流成扁平的螺旋形冲切拟处理部位, 形成圆柱形的空孔或使拟处理部位连通性加强, 钻杆不断往下加, 由高压清水冲切出的泥浆不断上冒, 钻孔不断加深, 直至拟处理部位底部, 为确保效果, 在该范围上下各 1000 mm 范围均为处理段。待钻杆下至预定深度后, 将喷射高压水转换成喷射高压水泥浆进行旋转, 并按 7 cm/min 的速度缓缓提升钻杆, 借喷射旋转提升的协调作用, 使

水泥浆灌满碎石缝隙，从而固结成桩。同时，在注浆过程中，施工管理人员必须认真检查水泥浆的水灰比和流量、高压泵压力和钻杆的提升、旋转速度等技术参数是否符合设计要求，并及时做好施工现场记录(见图 2)；

⑤ 注浆材料选择：为确保注浆体达到 M35 的强度要求，旋喷注浆材料选用 42.5R 普通硅酸水泥，水泥要求新鲜，使用前需作质量鉴定，其细度及安定性必须符合要求；

⑥ 在配制水泥浆过程中必须由现场施工技术管理人员对水泥浆的水灰比进行严格控制，以确保水泥浆的质量及注浆顺利；

⑦ 旋喷注浆过程中，有一定数量的颗粒料随着一部分浆液沿着注浆管壁冒出地面。通过冒浆的观察可以及时准确了解沉渣情况、旋喷注浆的效果和旋喷技术参数的合理性等。实践检验证明，冒浆内应含有土粒、水及水泥浆，其量小于注浆量的 20% 者为正常现象，超过或完全不冒浆均属不正常。此时，应及时查明原因，并采取相应的技术措施处理，以确保注浆成桩的质量。



Figure 2. Construction pictures of high pressure washing hole

图 2. 高压洗孔施工图片

5.3. 封闭注浆处理施工工艺(桩端沉渣或离析在规范许可范围的桩进行加强处理) [4]

5.3.1. 工艺流程

在抽芯孔下清洗桩端 → 预埋压浆管 → 浆液配制 → 封闭压浆。

5.3.2. 工序施工方法

① 清洗桩端

用注浆泵向桩孔内压入清水，从底部往上进行清洗，将孔内残余钻渣及泥浆清洗，让其返出孔外，直至孔口返出清水为止。

② 预埋压浆管(对于桩底无沉渣的不进行预埋，只进行封孔处理)

压浆管采用外径 25 mm 的普通焊管，管底 1 米范围内按照 0.15 m 的间距梅花状钻直径 6 mm 左右的出浆孔，管底端进行封闭，压浆管露出地面段安装闸阀一，浆管下放孔底。在孔口段与压浆管并排安装 1.0 米长的排气返浆管，管口安装闸阀二。最后用快硬水泥将孔口以下 1 米段进行封堵。

③ 浆液制作

采用 42.5R 普硅水泥按 0.6:1~1:1 的水灰比进行浆液搅拌，根据搅拌桶的体积计算出水泥掺量和水的加量，对浆液进行充分搅拌，在搅浆桶出口出安装过滤网，以确保压浆管出浆孔不被堵塞。

④ 压浆作业[4]

启动压浆泵，向孔内压入水泥浆，待返浆管口返处水泥浆后关闭其闸阀，然后用高压向孔内压入水泥浆，采取持续加压和稳压相结合，压浆采取先用稀浆压入，最后压入浓浆，注浆初始阶段用 1:1 的稀浆灌注而后逐步提高浓度，终止注浆前浓度最高为 0.6:1，相对应此时的注浆压力亦最高，以达到“挤密”的效果，以确保结石率达到 100%。在压力达到 3~5 MPa 以上便可停止压浆，并观察约几分钟，若压力不下降便可关闭压浆管闸阀，完成压浆作业，对送浆管及压浆泵进行清洗(见图 3)。



Figure 3. Construction pictures of high-pressure pile tip grouting
图 3. 高压桩端压浆施工图片

5.3.3. 抽芯桩缺陷分类及处理工艺的选择

根据基桩抽芯实际情况划分缺陷范围，并做出相应处理措施，并拟定出计划完成处理时间，详见下表 1。

Table 1. Statistical table of high-pressure jet processing
表 1. 高喷法处理统计表

承台区域	抽芯检测总桩数	沉渣或离析缺陷段小于 5 cm		沉渣或离析缺陷段为 5~10 cm		沉渣或离析缺陷段为 10 cm 以上范围		计划处理时间
		桩数	加强方法	桩数	处理方法	桩数	处理方法	
CT-14 (65~127)	63	50	封闭注浆	6	高喷 1~2 步	7	高喷 1~3 步	3 天
CT-15 (128~151)	24	13	封闭注浆	6	高喷 1~2 步	5	高喷 1~3 步	3 天
CT-16 (152~225)	74	31	封闭注浆	22	高喷 1~2 步	21	高喷 1~3 步	5 天
CT-17 (25~64)	40	23	封闭注浆	9	高喷 1~2 步	8	高喷 1~3 步	2 天
CT-18 (1~24)	24	20	封闭注浆	2	高喷 1~2 步	2	高喷 1~3 步	2 天

说明：若抽芯检测揭露为桩身中部有局部离析或夹泥等缺陷时采用高喷 1~3 步法进行处理。

6. 高喷处理后的质量验证

6.1. 压浆处理后的桩身及桩端砧质量状况检测

对所有桩端沉渣或离析超过 5 cm 的桩经过处理后建议做 100% 的小应变检测，同时在其中随机选取 10% 的处理桩进行再次抽芯验证桩端处理效果，对处理桩有选择性地按 10% 再次抽芯检测，结果为桩底无沉渣，钻进进尺正常，芯样呈长柱状、短柱状及块状，断口吻合，其中有 2 根桩桩底芯样达到抗压强度检验取样长度的进行了抗压强度检验，强度均大于 25 MPa，满足处理后设计要求的桩端砧强度，其余桩取样条件不满足故未做抗压强度检验，但钻进进尺正常，芯样基本完整，小处理完后小应变检测总桩数为 237 根，其中一类桩为 221 根，二类桩 16 根(见图 4~6)。



Figure 4. Core-pulling images processed
图 4. 处理完抽芯图片

表4 桩身结构完整性检测结果表

序号	桩号	桩径(mm)		钻芯桩长 (m)	波速 (km/s)	类别	桩身结构 完整性描述	备注
		桩身	扩底					
1	1	1100	--	11.90	4.38	II	3.2m左右轻微缺陷	
2	2	1100	--	12.57	3.79	I	桩身完整	
3	3	1100	--	12.00	4.79	(I)	桩身完整	
4	4	1100	--	11.60	4.32	I	桩身完整	
5	5	1100	--	12.40	4.33	I	桩身完整	
6	6	1100	--	11.94	4.40	I	桩身完整	
7	7	1100	--	12.20	4.40	I	桩身完整	
8	8	1100	--	11.90	4.34	I	桩身完整	
9	9	1100	--	12.20	3.84	I	桩身完整	
10	10	1100	--	12.14	4.15	I	桩身完整	
11	11	1100	--	12.20	4.24	II	桩身完整	
12	12	1100	--	12.00	4.37	I	桩身完整	
13	13	1100	--	11.80	3.99	I	桩身完整	
14	14	1100	--	12.45	4.39	I	桩身完整	
15	15	1100	--	12.20	4.30	I	桩身完整	

Figure 5. Complete small strain test report 1
图 5. 处理完小应变检测报告一

表4 桩身结构完整性检测结果表

序号	桩号	桩径(mm)		钻芯桩长(m)	波速(km/s)	类别	桩身结构完整性描述	备注
		桩身	扩底					
1	227	900	--	16.9	4.49	I	桩身完整	
2	228	900	--	17.1	4.16	I	桩身完整	
3	229	900	--	17.1	4.47	I	桩身完整	
4	230	900	--	17.9	4.32	I	桩身完整	
5	231	900	--	18.3	4.69	(I)	桩身完整	
6	232	900	--	17.9	4.98	(I)	桩身完整	
7	233	900	--	20.2	4.68	(I)	桩身完整	
8	234	900	--	20.5	4.85	(I)	桩身完整	
9	235	900	--	21.7	4.10	I	桩身完整	
10	236	900	--	21.7	4.32	I	桩身完整	
11	237	900	--	21.2	4.41	I	桩身完整	
12	238	900	--	21.1	4.25	I	桩身完整	
13	239	900	--	22.1	4.42	I	桩身完整	
14	240	900	--	23.0	4.34	I	桩身完整	

Figure 6. Processing of small strain test report 2

图 6. 处理完小应变检测报告二

6.2. 承载力检验

工程完工后的处理承载力检测采用随机抽样的形式对桩进行静载检测，主要检验其承载力能否达到设计要求。根据处理前的静载检验情况分析(113号桩桩端离析在17 cm左右，承载力检测为940吨，为合格；208号桩桩端离析53 cm承载力检测为940吨，为合格)对于沉渣或离析在20 cm以下的桩可不进行静载检测，对于原静载不合格的150号桩必须重新做静载实验，另外由甲方或监理随机选取一根离析或沉渣超过20 cm的桩进行静载检测。处理完后又进行了2根桩(150#、203#)静载检验，承载力均不小于9400 KN，沉降量均在规范允许范围内，满足设计要求(见图7、图8)。



Figure 7. Disposal of dead load test site heaps

图 7. 处理完静载检测现场堆载



Figure 8. Static load test pressure value processed
图 8. 处理完静载检测压力值

7. 高压旋喷工艺处理桩基缺陷成功与否的关键点研讨[5]

1) 抽芯检测结果描述缺陷位置的准确性, 只有缺陷位置准确, 才能在缺陷位置重点使用高喷重复清洗缺陷位置的不良胶结物, 从而确保处理后桩身砼能再次有效胶凝并达到砼设计强度, 否则不但不能达到处理效果还会对较好的桩身砼产生破坏。

2) 注浆孔的个数, 注浆孔的个数及位置布置直接影响到桩身或桩底缺陷砼的处理效果。

3) 注浆压力、注浆清洗缺陷位置的循环次数, 清洗提升速度这些参数也会影响到处理效果, 注浆压力太小不能有效清除砼缺陷处的残渣, 压力太大会对桩身缺陷处根部良好砼的胶结产生破坏, 旋喷清洗的循环次数应依实际清洗孔内返出的残渣情况研判而定。清洗提升速度应系注浆孔施工的成孔速度变化而定。

4) 是否采用高喷洗孔喷浆处理与压浆相结合处理需因缺陷位置的辐射面大小及缺陷在深度范围的影响深度而定, 缺陷严重必须二者工艺相结合处理, 才能达到有效效果。

8. 结语

该项目桩基通过高喷法处理后最终各项检测均能达到设计规范要求, 上部结构能顺利延续施工, 房屋建成后对房屋进行了沉降观测, 各项指标均能满足要求, 整体建筑也顺利通过了验收, 业主也得到了安全保障。通过以上桩底及桩身砼缺陷处理工程实例及以往成功经验, 应证了可以通过高压旋喷法处理嵌岩桩桩底成沉渣及桩身砼离析等缺陷。从而能作为桩基验收过程中检测出的一些影响桩基承载力, 造成工程质量隐患的补救手段, 给桩基质量做出了保障, 确保建筑物沉降稳定。

参考文献

- [1] 肖晨. 压力注浆处理桩基缺陷的施工技术[J]. 珠江水运, 2020(14): 86-87.
- [2] 张金纯, 王海燕. 高压喷射注浆法在岩溶区处理冲孔桩基缺陷及桩底溶洞的应用[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(8): 5-6.
- [3] 张铁涛. 论旋喷桩技术在桩基缺陷处理中的应用[J]. 中外建筑, 2017(8): 223-224.
- [4] 伍文. 高压注浆法处理灌注桩缺陷的工程实例[C]//2016年3月建筑科技与管理学术交流会. 2016年3月建筑科技与管理学术交流会论文集. 北京: 《建筑科技与管理》组委会, 2016.
- [5] 王静轩. 旋喷桩技术在桩基缺陷处理中的实践应用[J]. 工程建设与设计, 2015(8): 72-74.